

УДК 6.67.672

DOI: 10.15587/1729-4061.2019.170510

Оцінка та попередження розповсюдження монооксиду вуглецю у робочій зоні електродугового зварювання

В. В. Березуцький, І. І. Хондак, Н. Л. Березуцька, В. В. Дмитрик,
В. В. Горбенко, В. В. Макаренко

Проведено дослідження повітряного середовища у виробничих приміщеннях, де відбуваються зварювальні процеси, особливу увагу звернено на утворення монооксиду вуглецю (СО) в робочому середовищі в процесі ручного електродугового зварювання. Наведено класифікацію основних шкідливих речовин, які утворюються при зварюванні і споріднених процесах за характером негативного впливу на організм зварювальника. Побудовано математичну модель динаміки зміни концентрації чадного газу в повітрі робочої зони, виходячи з кількості шкідливої речовини (m) в повітрі приміщення у момент часу, інтенсивності виділення її у повітря та кратності повітрообміну. Дана математична модель включає розповсюдження чадного газу в повітрі, враховуючи повітрообмін між загальним об'ємом приміщення і локальними об'ємами робочої зони.

Досліджень щодо утворення монооксиду вуглецю у процесах електрозварювання обмаль, тому необхідність дослідження цього є пріоритетним.

Експериментальними дослідженнями було підтверджене, що концентрація чадного газу за межами локальних об'ємів пристроїв місцевої вентиляції, тобто в повітрі робочих зон, залишається постійною (до $0,01 \text{ мг/м}^3$) і не перевищує ГДК (20 мг/м^3). Відмова або відсутність загально-обмінної вентиляції, призводить до швидкого зростання концентрації газу монооксиду вуглецю (СО) в експоненційній залежності (від 150 до 200 мг/м^3 за 0,5-0,6 години) у малому замкнутому робочому просторі (1 м^3), а далі може розповсюджуватись по усьому приміщенню.

Але відмова загально-обмінної вентиляції, призводить до швидкого зростання концентрації газу монооксиду вуглецю (СО) в експоненційній залежності. Це свідчить, про те що загально-обмінна вентиляція має важливе значення, але вона не є гарантом забезпечення безпеки зварювальників та інших працівників щодо отруєння газом. Тому повинно бути передбачено застосування місцевої вентиляції та захист органів дихання усіх хто є присутнім при проведенні процесів електрозварювання. Отримані математичні моделі дозволяють виконати оцінку ризиків працівників, врахувати емісії СО при розрахунках систем вентиляції у робочій зоні, скорегувати систему менеджменту ризиками та охороною праці

Ключові слова: електродугове зварювання, монооксид вуглецю, шкідливі емісії, робочий простір, отруєння газом

1. Вступ

Процеси електродугового зварювання широко використовуються в багатьох галузях промисловості при створенні нероз'ємних з'єднань при збірці окремих частин виробів і конструкцій [1]. Зважаючи на велику кількість підприємств, де відбуваються такі види процесів, а також можливість використання їх у невеликих майстернях та побуті, виникає завдання в покращенні їх менеджменту. Насамперед, це стосується безпеки, захисту органів дихання, до яких монооксид вуглецю швидко проникає, якщо не використовуються захисні засоби та заходи. У процесах електродугового зварювання використовується велика кількість різних видів електродів, які є безпосередньо джерелами газу СО. Роблячи вибір типу електродів, можна зменшити обсяг емісій. Але при цьому слід враховувати, що практично усі процеси зварювання супроводжуються емісіями навколишнього середовища шкідливих речовин [2].

Один із шляхів менеджменту емісіями шкідливих та небезпечних газів у робочий простір зварювальника, є постійне вдосконалення засобів зварювання та зварювальних матеріалів. Але, як би не намагались удосконалити процес зварювання, поки в ньому є присутні надзвичайно висока температура, емісії газів та речовин, що потрапляють у навколишнє середовище де присутня людина (зварювальник), це питання остаточно вирішити не можливо. Каталізатором проблеми є наявність людського фактора, який спонукає деяких працівників, не використовувати або обмежено використовувати засоби захисту та не включати вентиляцію при проведенні зварювальних робіт. Тому, умови праці електрозварників залишаються шкідливими, що негативно позначається на їх здоров'ї та працездатності [3].

Відзначається, що останнім часом спостерігається тенденція, загибелі людей та отруєння працівників емісіями, що супроводжують різні виробничі процеси та у побуті, де є джерела утворення монооксиду вуглецю. Особливо часто ці негативні явища мають місце у замкнутих просторах приміщень, шахт тощо.

На сьогоднішній день немає статистики з дослідження кількості СО, який потрапляє до організму зварювальника в процесі праці, тому дослідження впливу технології ручного електродугового зварювання (ЕДЗ) на утворення чадного газу в робочій зоні та навколишньому середовищі є актуальним.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

При використанні різних технологій зварювання виникають шкідливі речовини у формі газоподібних частинок, насамперед: окис вуглецю; окис азоту; двоокис азоту; озон. У роботі [4] насамперед звертають увагу на те, що окис вуглецю утворюється в критичних концентраціях при зварювальних роботах MAG в захисній атмосфері двоокису вуглецю або при зварювальних роботах MAG в захисній атмосфері змішаного газу з високою часткою двоокису вуглецю. Але СО утворюється та присутній практично у всіх зварювальних технологіях, де відбувається розігрів металу до високих температур, а тому треба розширити дослідження та більше уваги приділяти ризикам отруєння чадним газом.

У роботі [5] досліджено модель утворення твердої складової зварювального аерозолі (ТССА) і газової складової зварювального аерозолі (ГССА) в повітрі виробничих приміщень. Вказується на те, що це пов'язано з видом і типом зварювальних матеріалів, режимами зварювання, умовами організації праці, наявністю і ефективністю роботи припливно-витяжної вентиляції та ін. При використанні покритих електродів в виробництві конструкцій судів концентрація ТССА в зоні дихання зварювальників коливається від 10...30 до 200...280 мг/м³ і більше, при виробництві машинобудівних і будівельних конструкцій середній рівень ТССА в зоні дихання в 2...4 рази нижче, при механізованому зварюванні у вуглекислому газі порошковим дротом і дротом суцільного перетину концентрація ТССА в зоні дихання становить від 15...30 до 80...120 мг/м³. У роботі [5] розглянуто механізм утворення ТССА при дуговому зварюванні сталі в вуглекислому газі та тільки не згадується про модель ГССА (газової складової зварювального аерозолі). Дослідження ГССА та створення її моделі є важливим науковим завданням.

Дослідженнями електродів з покриттями основного, рутил-основного - та рутил-силікатного видів показано, що мінімальний рівень виділення зварювальних аерозолів і найбільш токсичних сполук шестивалентного хрому досягається при зварюванні електродами з покриттям рутил-силікатного виду. У роботі [6] наведено, що при зварюванні високолегованих сталей для мінімізації виділення сполук шестивалентного хрому у складі зварювального аерозолі (ЗА) і зниження їх токсичності доцільно: у рецептурах покриття основного виду забезпечити співвідношення $\text{CaCO}_3/\text{CaF}_2 > 1$; для електродів з покриттям рутил-основного виду для розкислення електродного металу використовувати марганець або суміш марганцю з кремнієм; в електродних покриттях рутил-силікатного виду реалізувати співвідношення $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2 > 3$. У роботі не наведено зменшення монооксиду вуглецю у ЗА при використанні рутил-силікатних покриттів, але із роботи можна визначити можливість такого впливу і необхідності його дослідження.

У роботі [7] також досліджено, що обсяги емісій ЕДЗ залежать від фізико-хімічних властивостей покриття, кислотності шлаків, характеристик електричної дуги та електрода, режимів процесу зварювання але недостатньо уваги приділено газовим емісіям. Тобто, аналізуючи роботи [6,7], можна зробити висновок, що змінюючи вище вказані показники можна знайти більш менш безпечний режим праці, але він не забезпечить повну безпеку без застосування засобів та заходів захисту зварювальників. Особливу увагу слід приділити зварювальним процесам, які відбуваються у локалізованих просторах, де відсутня вентиляція. У той же час, сам процес пошуку такого оптимального варіанту достатньо складний при великому асортименті зварювальних матеріалів та виробничих завдань.

У роботі [8], наведено що у дослідженнях, які проводили, жодна з концентрацій металевих складових у ЗА не перевищувала гранично допустимої межі впливу (PEL) для підприємств. Однак статистичний аналіз показав значні середні відмінності функцій легенів між зварювальниками і не зварювальниками.

Ефект дози та ризику в цьому дослідженні дотримується моделі доза-ризик для інгаляційної токсичності, як показано у формулі:

$$\text{Підіндекс} = \text{рейтинг доз} \times \sum \text{рейтинг ризику для здоров'я.} \quad (1)$$

У роботі визначається, що є певний вплив ЗА на здоров'я зварювальників, але не вказано саме які гази впливають, а тому можна зробити припущення що це СО, який може робити саме такий вплив, а тому треба дослідити його дозові показники для визначення ризику впливу.

У роботі [9] розглядається можливість підвищення екологічної чистоти дугових зварювальних процесів. Показано, що мінімальна маса шкідливих речовин виділяється при дуговому зварюванні під флюсом, однак технологічні особливості даного способу різко обмежують області його застосування. Максимальна кількість шкідливих речовин виділяється при зварюванні порошковим дротом та ручному дуговому зварюванні. Дуже важливим є те, що підвищенню екологічної чистоти зварювальних процесів сприяє застосування матеріалів з пониженим вмістом шкідливих речовин. Однак у цьому випадку виграш дуже незначний, тому що механічні властивості зварних з'єднань, як правило, забезпечуються за рахунок легування металу зварних швів. А це, у свою чергу, забезпечується відповідним легуванням зварювальних матеріалів – електродів та електродних дротів, і суттєво знизити вміст ряду легуючих елементів, які відповідалі за якість і властивості зварних швів та за вміст шкідливих речовин у зоні зварювання практично неможливо. Тому на сьогодні основним напрямком підвищення екологічної чистоти зварювання є очищення вентиляційних викидів від шкідливих речовин.

У роботі [10] наведено огляд парів зварювання, впливу їх на здоров'я та заходи щодо захисту зварювальників від зварювальних газів. Впромислово розвинених країнах близько 2% робочої сили зайняті у зварюванні. Ці працівники піддаються впливу диму і токсичних речовин що є загрозою їх здоров'я. Більшість малих і середніх підприємств (МСП) недостатньо вкладаються фінансово в забезпечення комфортних умов праці, що не сприяє безпеці та здоров'ю працівника. Більшість зварників, які працюють у будівництві, на заводах, гірничій промисловості, металургії, залізниці, нафтохімії, металургійних підприємствах, суднобудівній або металургійній промисловості наражаються на респіраторні захворювання або легеневі інфекції. У результаті зварювання МАГ утворюється монооксид вуглецю при розпиленні диоксиду вуглецю в захисному газі. Монооксид вуглецю впливає на здатність крові поглинати кисень. У роботі не розглядаються процес утворення та шляхи проникнення СО у легені зварювальників, а тільки вказується на важливість цього питання. Тому слід приділити увагу саме процесам утворення монооксиду вуглецю та шляхів його проникнення в організм зварювальника.

У роботі [11] наведено результати дослідження впливу стійкості перенесення металів та композиції захисного газу на викиди СО та СО₂ при короткозамкнутому зварюванні MIG/MAG. Було встановлено, що чим багатіше склад захисного газу в СО₂, тим більше СО і СО₂ генеруються дугою. СО₂ може бути

знижена і перетворена в СО. Загальновідомо, що СО₂ також знижується до СО при високих температурах, як в електричній дузі, так і на поверхні розплавленого металу, тому він хімічно більш стабільний. СО є смертельною отрутою, і люди, які зазнали впливу, можуть бути уражені без попередження, оскільки він безбарвний, без запаху, несмачний і не дратує. Знайшли пряму кореляцію між викидами СО та зварювальним струмом. Використовуючи газову суміш (18% СО₂) значно зменшили викиди СО у порівнянні зі 100% СО₂ (захисний газ), особливо при більш високих струмах. Висока концентрація СО₂ зазвичай є проблемою лише в обмежених просторах. У роботі не наводиться конкретна цифра щодо показників зменшення викидів що є недоліком. Але, саме утворення газів та робота у обмежених просторах вимагає додаткових досліджень на СО та його умови впливу на працівників. Аналізуючи застосовану методику у роботі [11] відбору газів детекторами, можна визначити її не досконалість, через те, що газ який утворюється вимірюється осторонь процесу на тому ж рівні, а тому більша його частина не реєструється, тому що він швидко піднімається вгору минаючи зону замірів. Треба удосконалити методику відбору газу СО та звернути увагу на його високу летучість.

У роботі [12] було виконано дослідження показників життя зварювальників на відповідність HRQL. Багатоваріантну ступеневу регресію застосовували, використовуючи вісім SF-36 розмірів як залежні змінні, а фактори ризику як незалежні змінні. Рівень статистичного включення незалежних змінних був встановлений на рівні 0,05, а рівень виключення був встановлений на рівні 0,10 у покроковому процесі. Результати багатоваріантної ступінчастої регресії свідчать про те, стаж роботи зварювальника, тип зварювання, використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) та соціальні фактори впливають на роботу зварювальника. Недоліком досліджень є те, що не враховували ЗА (у тому числі газові) та інші фактори, які щоденно впливають на працівника. Необхідно ці дослідження доповнити стосовно визначення дози впливу газової складової емісії ЗА.

Медичні дослідження вказують, що емісії при зварюванні є однією з основних причин розвитку професійних захворювань, таких як пневмоконіоз зварника, а також ряду інших небезпечних уражень організму, які впливають на скорочення тривалості життя [13, 14]. З точки зору промислової безпеки гранично допустима концентрація (ГДК) шкідливих речовин, що утворюються у повітрі робочої зони зварювальних робіт нормована для кожного елемента або оксиду вуглецю [15]. Недоліком цих досліджень є те, що дуже важко врахувати вплив СО, без виконання спеціальних досліджень. А ще важче визначити хронічний вплив, цього газу на робітників. Тому необхідно поширювати та углиблювати ці дослідження стосовно експозиції впливу ЗА, враховуючи їх важливість.

Дослідження щодо вирішення питань охорони навколишнього середовища, зокрема, локалізації та нейтралізації шкідливих речовин при зварюванні детально розглянуті в роботах [15–17]. У роботі [15] розглядаються небезпеки, що призводять до виробничих травм при електро- та газовому зварюванні кольорових металів і сплавів. Підкреслюється можливість отруєння організму шкідливими газами, пилом та випарами, що виділяються при зварюванні. Особливо шкідливими речовинами вражаються робітники при зварюванні і різанні кольо-

рових металів. Їх гранично допустимі концентрації (ГДК) часто бувають набагато перевищені на практиці (табл.1). Цю таблицю було доповнено, зварюванням у вуглекислому газі, де присутній двоокис азоту, та зварюванням у захисних газах де присутній монооксидвуглецю. У роботі [16] запропоновано теоретичне обґрунтування управління якістю повітряного басейну на основі екологічного менеджменту. Недоліком попередніх робіт була відсутність аналізу впливу емісій ЗА та СО на навколишнє природне середовище. Наведені дослідження дозволяють на математичному рівні провести систематизацію та формалізацію всіх змінних, що беруть участь в управлінні якістю повітряного басейну в екосистемі. Запропоновані у роботі технології наплавлення виконані з урахуванням Кіотської угоди в замкнутій системі фільтрації з мінімальними ризиками. Але насамперед треба враховувати той факт, що велика кількість зварювальних робіт, що неможливо підрахувати, виконується на відкритому просторі та ЗА безпосередньо потрапляють у природне середовище (ремонт та прокладка труб, зварювання металевих конструкцій, ремонт автомобілів та інше). При виконанні зварювальних робіт на відкритому повітрі слід враховувати викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря населених місць [17]. Зважаючи на наведені у роботі [11] данні, щодо можливих переходів із СО в СО₂ та навпаки, при певних умовах, треба звернути увагу на можливий екологічний вплив ЗА на екосистеми.

У роботі [18] висвітлено екологічну проблему, яка розглядає дим який утворюється при зварюванні та складається з суміші дрібно дисперсних частинок і газів. Більшість компонентів диму, які виділяються при зварюванні можуть бути надзвичайно токсичні. До них належать: хром, нікель, миш'як, азбест, марганець, кремній, берилій, кадмій, оксиди азоту, хлорокис (оксихлорид) вуглецю, акролеїн, сполуки фтору, оксид вуглецю, кобальт, мідь, свинець, озон, селен і цинк. В основному зварювальний аерозоль складається із заліза і його оксидів, але в його складі можуть бути такі речовини і їх сполуки, як марганець, хром, нікель, алюміній, мідь, цинк, фтор, кремній, азот і багато інших[19]. Таким чином, обов'язково треба використовувати системи вентиляції, для забезпечення безпеки від вище вказаних домішок але треба враховувати присутній СО, у всіх цих процесах. Необхідно системи вентиляції обладнати фільтрами із застосуванням елементів із адсорбційними властивостями. При цьому треба врахувати, що токсичність емісіїу процесі зварювання, підвищується при застосуванні зварювальних електродів, у складі яких збільшується концентрація канцерогенного шестивалентного хрому і нікелю на що вказується у роботі[20].

У роботі[15]вказані допустимі норми шкідливих речовин в повітрі при зварюванні металів та сплавів – алюмінію, міді і її оксидів, оксидів марганцю, кремнію, нікелю, цинку, азоту, берилієвої бронзи, свинцю та сполук водню. ГДКшкідливих речовин в повітрі робочої зони при зварюванні металів представлені в табл.1, де додані до переліку двоокис азоту та монооксид вуглецю[21].

Таблиця 1

ГДК шкідливих речовин в повітрі при зварюванні металів

Зварювані метали, сплави і газові сполуки	Речовини	ГДК, мг/м ³
Алюміній і сплави на його основі	Алюміній	2
Мідь і сплави на її основі	Мідь (метал і його оксиди)	1
	оксид марганцю	0,3
	оксид кремнію	1
	оксид нікелю	0,5
	оксид цинку	5
	оксид азоту	5
	озон	0,1
Берилієва бронза	Берилій і його сполуки	0,01
Свинець	Свинець і його неорганічні сполуки	0,01
Сполуки водню	Фтористий водень	0,05
Зварювання у вуглекислому газі	Двоокис азоту	2
Зварювання в захисних газах	Монооксидвуглецю	20

У роботі [22] наводиться характеристика монооксиду вуглецю за токсичністю. Вказується на те, що це газ який немає запаху, кольору та смаку, до того ж, отруйна дія його базується на здатності створювати з гемоглобіном крові стійку комплексну сполуку – карбоксигемоглобін, що перевищує більше ніж у 200 разів здатність гемоглобіну приєднувати кисень. Тому 0,1% CO в повітрі робочої зони зв'язує таку ж кількість гемоглобіну (50%), що й кисень повітря. Присутність CO призводить до кисневого голодування організму, що при значних концентраціях CO в повітрі і тривалому часі може спричинити серйозні захворювання або летальний наслідок [23]. Дуже важливим, у цьому випадку є детектори або прилади щодо визначення наявності CO у повітрі та своєчасного сповіщення про це персоналу. Про це у роботі мова не іде. Треба визначити сучасні прилади для визначення дозових порогів CO у робочому приміщенні.

У роботі [24] наведено щодо утворення CO при газо-пресованому зварюванні, та зварювання металевим електродом в середовищі інертного газу (MIG). CO утворюється при дуговому зварюванні металевим електродом в газовому середовищі (GMAС) та зварюванні вольфрамовим електродом в інертному газі (TIG). Менш поширеними але процесах зварювання, що застосовується на виробництві, а саме: дугове зварювання вольфрамовим електродом в газовому середовищі (GTAW); дугове зварювання в середовищі гелію, плазмове зварювання (PAW) і плазмове напilenня; дугове різання вольфрамовим електродом, зварювання трубчастим електродом (FCAW). CO також утворюється при дуговому зварюванні розплавленим електродом в середовищі активного газу (MAG) та повітряно-дуговому різанні. На сьогоднішній день розроблені деся-

тки способів зварювання. Найбільш поширено види MIG, MAG, TIG, і MMA зварювання. Україна лідирує за кількістю підприємств державної форми власності – більше 3000 [25]. Якщо прийняти до уваги те, що на кожному з них є майстерня або дільниця, де виконуються зварювальні роботи, і там працює 1-2 зварювальника, то відповідно біля 3000-6000 працівників щоденно наражаються на небезпеку впливу моно оксиду вуглецю. Виходячи із цього, треба дослідити динаміку утворення СО у робочій зоні, можливі шляхи проникнення ЗА у зону дихання працівника, визначити дозові ризики отруєння та надати рекомендації, щодо запобігання та захисту зварювальників від впливу газових емісій із урахуванням експозиції негативного впливу.

Виходячи з аналізу літературних даних, виникає необхідність проведення додаткових досліджень з метою оцінки розповсюдження монооксиду вуглецю в робочій зоні зварювальника, вибору необхідних засобів захисту та системи вентиляції.

3. Мета та задачі досліджень

Метою роботи є оцінка характеру утворення та розповсюдження монооксиду вуглецю зварювального аерозолі в залежності від стану систем вентиляції із урахуванням експозиції процесів зварювання. Це дає можливість розрахувати ризики отруєння монооксидом вуглецю, надати рекомендації щодо застосування систем вентиляції та газоаналізаторів-сигналізаторів у робочій зоні зварювальників, і таким чином звести до мінімальних ризиків імовірність отруєння чадним газом.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- удосконалити методику аналізу газу СО у виробничих умовах, зробити пропозиції щодо попередження розповсюдження монооксиду вуглецю в середовищі та оцінити ефективність застосування газового аналізатора-сигналізатора типу Дозор-С-М щодо попередження впливу на зварювальників монооксиду вуглецю у виробничих умовах;
- оцінити небезпеку зварювальних процесів у локалізованих просторах, де відсутня вентиляція та збільшується ризик отруєння чадним газом зварювальників;
- оцінити заходи та засоби захисту працівників та довкілля від впливу чадного газу та можливі шляхи щодо проникнення монооксиду вуглецю в організм зварювальника у процесі його роботи.

4. Методика дослідження розповсюдження монооксиду вуглецю зварювального аерозолі у просторі робочої зони зварювальника

Експеримент проводився у лабораторії зварювання, кафедри зварювання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»(Україна). Лабораторія є ізольованим приміщенням площею 240 (15×16)м², висота приміщення – 6 м. У приміщенні проектується система вентиляції. Дослідження спрямовані на визначення кращих підходів, щодо розташування робочих місць зварювальників, проектування загально-обмінної вентиляції та зменшення ризику негативного впливу чадного газу на зварювальників.

Перед початком зварювання було визначено місце розташування зварювальника, на одному із 5 спроектованих зварювальних постів.

Елементами, що зварювались, були зразки металу із сталі ВСТЗСП, товщиною 8 мм. Зварка виконувалась електродами УОНИ-13-55 із основним покриттям, діаметром електродів 3 мм. Сила електричного струму зварювання (І зварки) становила 110 А. Вибір режиму зварки та характеристика джерела живлення електричним струмом, вказують на формування зварювального аерозолу та наявність його негативного впливу на працівників у лабораторії. Оцінка емісій ЗА на наявність та виміри концентрацій монооксиду вуглецю виконувались у двох режимах при ручному дуговому зварюванні: перший - в зоні зварювання в замкненому об'ємі; другий – в зоні зварювання під витяжним зонтом (вентиляцію штучну не включено). Отримані результати замірів наведено у табл. 1-3.

При проведенні досліджень було враховано, що монооксид вуглецю, який виділяється при проведенні процесів зварювання, має надзвичайну небезпечність через те що його важко визначити у робочій зоні та він має тяжкі наслідки для здоров'я робітника.

Дослідження з визначення рівня концентрацій СО проводилося сигналізатором-аналізатором газів багатокомпонентним індивідуальним «ДОЗОР-С-М» [26].

Характеристика приладу для вимірів: сигналізатор-аналізатор ДОЗОР-С-М, виробник – науково-виробниче підприємство «ОРІОН», м. Харків, Україна (рис.1). Сигналізатор призначений для вимірювання концентрації компонентів в газовій суміші димових газів (газів, що відходять). Сигналізатор можна застосовувати для контролю загазованості повітря виробничих об'єктів.

Діапазони вимірювань і межі допустимої основної похибки: значення концентрації газів відображається в: мг/м^3 , при вимірюванні аміаку, диоксиду азоту, диоксиду сірки, оксиду азоту, оксиду вуглецю, сірководню та хлору; у відсотках НКПР (об'ємних частках, % об.) при вимірюванні горючих газів і парів; об'ємних частках, % об. при вимірюванні диоксиду вуглецю і кисню. Ціна одиниці найменшого розряду: 0,1% НКПР (0,01% об.) – при вимірюванні горючих газів і парів; $0,1 \text{ мг/м}^3$ – при вимірюванні аміаку, диоксиду азоту, диоксиду сірки, оксиду азоту, оксиду вуглецю і сірководню.

Відбір аналізованої газової суміші проводиться через газозабірний зонд. Газозабірний зонд призначений для достовірності вимірювань концентрації компонентів димових газів, забору проби димових газів з димоходу, а також для захисту обладнання від абразивного зносу продуктами згоряння твердого палива. Чутливий елемент до оксиду вуглецю (CO), оксиду азоту (NO), диоксиду азоту (NO₂), диоксиду сірки (SO₂) і сірководню (H₂S) є трьохелектродний електрохімічний осередок, який при наявності в газовій суміші компонента що визначається, виробляє електричний сигнал, прямо пропорційний його концентрації. Дослідження проводили згідно інструкції до приладу сигналізатор-аналізатор ДОЗОР- С-М [26], рис.1



Рис. 1. Виміри CO у лабораторії зварювання сигналізатором-аналізатором ДОЗОР-С-М

Отримані результати вимірів зберігались у вигляді архіву результатів досліджень із фіксацією часу та дати вимірів на приладі, а також для перегляду на персональному комп'ютері через порт USB та Ir адаптера.

5. Оцінка характеру утворення та розповсюдження монооксиду вуглецю зварювального аерозолі

5. 1. Дослідження небезпеки зварювальних процесів у локалізованих просторах та ризику отруєння чадним газом зварювальників

У лабораторії, де виконувались дослідження, розташовано 5 робочих місць для ручного електродугового зварювання. Вимірювання проводилось на одному робочому місці. Виконували вимір і аналіз концентрації чадного газу на робочому місці і на основі отриманих експериментальних даних проведено математичне моделювання вмісту чадного газу в повітрі робочої зони з урахуванням 5 робочих місць.

Коли розраховується утворення газу у будь якому процесі, то для розрахунків небезпеки впливу завжди приймається варіант, що всі робочі місця працюють, тобто максимальне навантаження. Експозиція напрацювання газу обиралась по спрацюванню сигналу ПОРОГ-1 (20 мг/м^3), ПОРОГ-2 (50 мг/м^3) та ПОРОГ-3 (100 мг/м^3) газоаналізатора.

Враховуючи значну складність визначення CO у відкритому приміщенні приладами типу ДОЗОР, через високу його летючість, було запропоновано використовувати додатково куполоподібну навісу (внутрішній об'єм 1 м^3) над зоною зварювання. Цій навіс дозволяє утримувати газ та концентрувати його у певній зоні. Без застосування такого навісу, практично неможливо визначити динаміку утворення чадного газу у зоні зварювання. Результати досліджень наведено у табл. 1-3.

Таблиця 1

Концентрація CO та SO₂ в зоні зварювання в замкненому об'ємі при ручному дуговому зварюванні

Гази	Напрацювання газу (процес зварювання) у трьох експериментах, мг/м ³				Похибка вимірів, мг/м ³			
	через 10 с							
	1	2	3	Середнє значення	1	2	3	Середнє значення, %
CO	127	124	126	125,7	1,3	1,7	0,3	3,3
SO ₂	0,1	0	0,1	0,067	0,033	0,067	0,033	3,4

Експериментальні данні наведені у табл. 1, показали недоцільність дослідження SO₂, тому у подальшому його було виключено із досліджень.

Таблиця 2

Зменшення концентрації CO в зоні зварювання в замкненому об'ємі при ручному дуговому зварюванні

Концентрація газу у робочій зоні через t, с після завершення процесу зварювання, мг/м ³															
20 с				30 с				40 с				50 с			
1	2	3	Ср	1	2	3	Ср	1	2	3	Ср	1	2	3	Ср
183	190	185	186	41	48	45	44,6	17	14	16	15,7	11	13	13	12,3

Таблиця 3

Концентрація CO в зоні зварювання під витяжним зонтом (вентиляція штучна не включено) при ручному дуговому зварюванні

Концентрація, мг/м ³	Напрацювання газу (процес зварювання) у трьох експериментах (середні показники), мг/м ³			Залишки газу після завершення процесу зварювання у трьох експериментах (середні показники), мг/м ³		
	10 с	20 с	30 с	10 с	20 с	30 с
CO	6,2	14,4	14,7	15,0	5,5	3,2

З наведених у табл. 1–3 даних видно, що газ швидко концентрується у замкнутому просторі, і далі зникає, розчинюючись у повітрі робочої зони. Під зонтом витяжної вентиляції, газ CO, хоч і повільно, але відразу зменшує свою концентрацію виділяючись через систему вентиляції, де є вихід у напрямку зовні приміщення.

Для оцінки ризику отруєння чадним газом зварювальників використаємо метод Файн-Кінні[27]

$$R = P \cdot E \cdot D, \quad (2)$$

де P –ймовірність небезпек (табл. 1 [27]); E – серйозність наслідків (табл. 2 [27]); D – ймовірність пошкоджень (табл. 3 [27]).

P –один раз на годину – 6. E –серйозність наслідків може бути визначена за двома варіантами: перший – як отруєння (травма) із втратою працездатності на 1 день, відповідно -1; смертельний випадок – 50. Ймовірність отруєння D (пошкоджень), як можливу при збігу обставин (не працює вентиляція) – 1. Згідно виразу (2) ризик буде визначатись за двома варіантами по E . У першому варіанті $R=6$ та згідно [27] професійний ризик не великий. У другому варіанті $R=300$, що означає високий рівень ризику та необхідність вживання негайних дій.

5. 2. Математична модель газової складової зварювального аерозолі (ГССА) щодо монооксиду вуглецю

Вміст чадного газу в повітрі робочих зон виробничого приміщення визначається двома чинниками: виділенням і видаленням. Якщо видалення відбувається загально-обмінною вентиляцією, яка передбачає повне перемішування повітря в приміщенні, швидкість зміни вмісту речовини в повітрі розраховується за формулою:

$$\frac{dm}{dt} = J - Km, \quad (3)$$

де m –кількість шкідливої речовини в повітрі приміщення у момент часу t , год; J – інтенсивність виділення, мг/год; K – кратність повітрообміну, 1/год;

$$K = \frac{L}{V}, \quad (4)$$

де L – продуктивність вентиляційної системи, м³/год; V – об'єм приміщення, м³. Загальним рішенням диференціального рівняння (3) є вираз [28]:

$$m = m_0 \exp(K(t_0 - t)) + \frac{J}{K} [1 - \exp(K(t_0 - t))], \quad (5)$$

де m_0 – початкова кількість (г) шкідливої речовини в повітрі приміщення у момент часу t (год.), де t_0 – початковий момент часу.

Для розрахунку концентрації необхідно ліву і праву частини рівняння (3) розділити на V . Поділив масу речовини m , яка знаходиться в повітрі приміщення, на об'єм приміщення V , отримаємо концентрацію речовини C . Це ствердження відноситься як до лівої, так і до правої частини рівняння (3).

Поділивши ліву та праву частини рівняння (3) на V , отримаємо відповідний вираз для концентрації шкідливої речовини C :

$$\frac{dC}{dt} = \frac{J}{V} - \frac{L}{V}C, \quad (6)$$

Коли в приміщенні одночасно виділяється шкідлива речовина та відбувається повітряний обмін, концентрація шкідливої речовини в повітрі робочих зон зростає за експоненціальним законом (рис. 2, крива 1). Графіки представляють собою чисельне рішення рівняння (6) в середовищі Маткад.

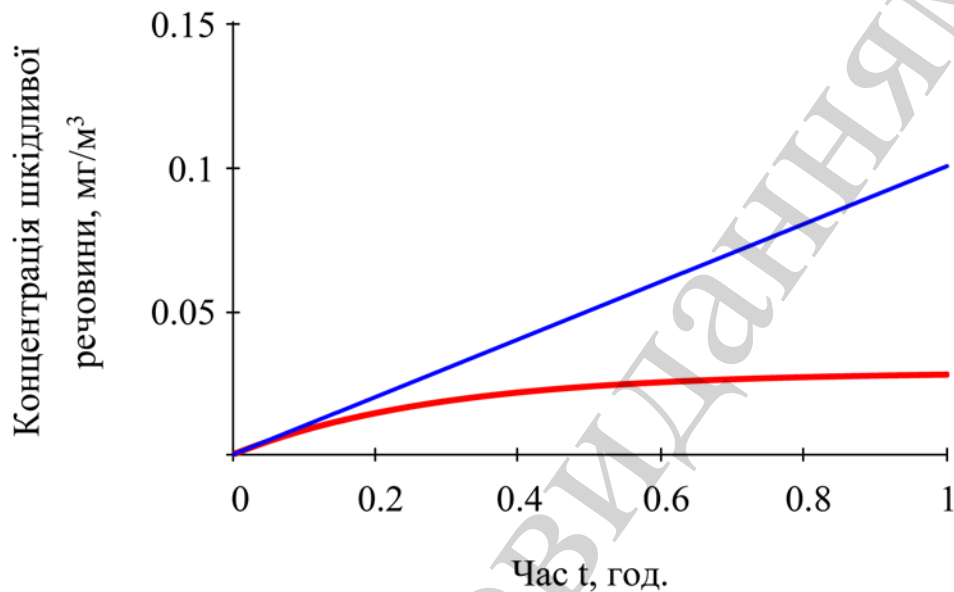


Рис. 2. Зростання концентрації чадного газу в повітрі приміщення (Mathcad; $V=100 \text{ м}^3$; $L=350 \text{ м}^3/\text{год}$; $J=10 \text{ мг/год}$)

Крива 1 являє собою рішення рівняння (6) і відображує зміну концентрації шкідливої речовини в повітрі робочих зон за наявності джерела шкідливої речовини та повітрообміну;

Крива 2 являє собою рішення рівняння (6) за відсутності повітрообміну

При $J=0$ виділення речовини не відбувається, а її зменшення у повітрі робочих зон підкоряється експоненційному закону (рис. 3).

Рівняння (5) описує динаміку (швидкість зміни) маси речовини в повітрі при наявності джерела виділення та загальнообмінної вентиляції. Рівняння (7) описує окремий випадок, коли провітрюється загазоване приміщення, і відповідає динаміці концентрації речовини. ×

$$C = C_0 \exp(K(t_0 - t)), \quad (7)$$

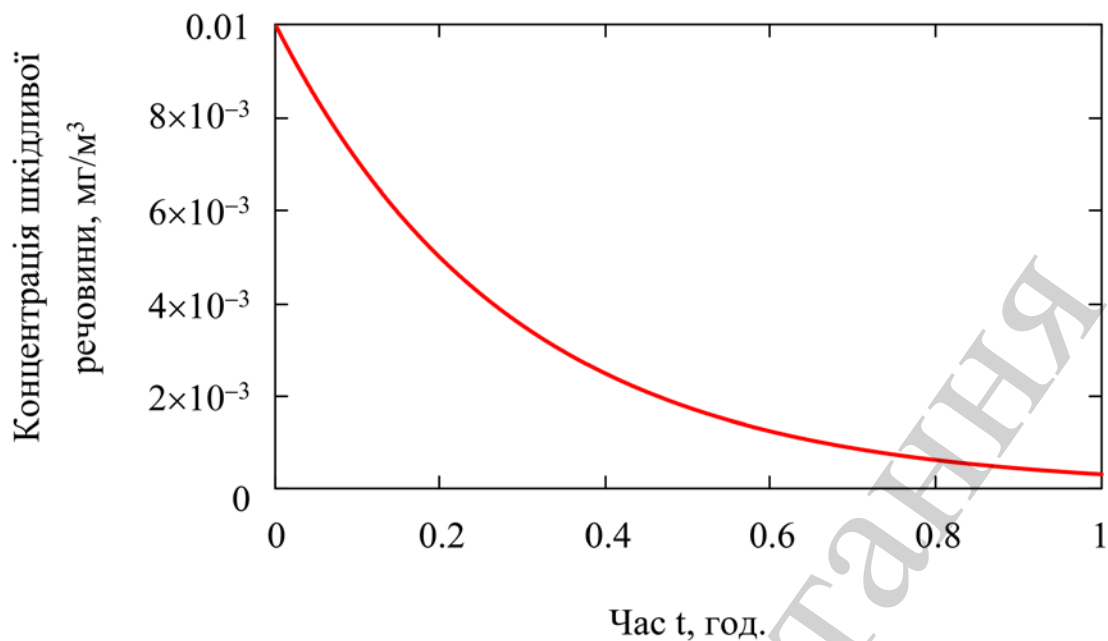


Рис. 3. Зменшення чадного газу в повітрі приміщення (Mathcad; $V=100 \text{ м}^3$; $L=350 \text{ м}^3/\text{год}$; $J=0 \text{ мг/год}$)

Важливою є кінетична характеристика процесу змінення концентрації речовини, яка пов'язана зі швидкістю процесу насичення. Спостерігається при $K=0$. Проста підстановка цього значення у вираз (5) дасть невизначеність типу «0/0». Тому для знаходження аналітичного рішення необхідно знайти межу функції при $K \rightarrow 0$, використовуючи правило Лопіталя:

$$m = \lim_{K \rightarrow 0} \left(m_0 \exp(K(t_0 - t)) + \frac{J}{K} [1 - \exp(K(t_0 - t))] \right) = m_0 + Jt, \quad (8)$$

Переходячи від маси до концентрації речовини в повітрі, отримаємо кінетичну характеристику процесу (рис. 2, крива 2)

$$C = C_0 + \frac{J}{V}t, \quad (9)$$

Часто в практичних завданнях необхідно враховувати зміну режиму роботи (включення або виключення) джерела забруднення повітря або вентиляції. З цією метою пропонується використовувати математичну функцію $\text{sign}(t)$ в якості співмножника при відповідних доданках в рівняннях (3) і (6). Її значення дорівнює 0, якщо t дорівнює 0. Якщо t більше 0, вона дорівнює 1. В іншому випадку $\text{sign}(t)$ дорівнює -1 [29]. Наприклад, при виключенні або відмові вентиляційної системи рівняння (7) запишеться наступним чином (рис. 4):

$$\frac{dC}{dt} = \frac{J}{V} - \frac{L \cdot C \cdot v(t)}{V}, \quad (10)$$

де $v(t)$ – функція, яка визначає режим роботи (працездатність) вентиляційної системи (рис. 4):

$$v(t) = \frac{\text{sign}(0,6 - t) + 1}{2}. \quad (11)$$

Рівняння (11) являє собою окремий випадок працездатності вентиляційної системи. Значення «0,6» в даному випадку визначає момент її виключення (відмови) протягом 1 години.

Динаміка концентрації чадного газу в повітрі приміщення з урахуванням працездатності системи вентиляції зображена на рис.4.

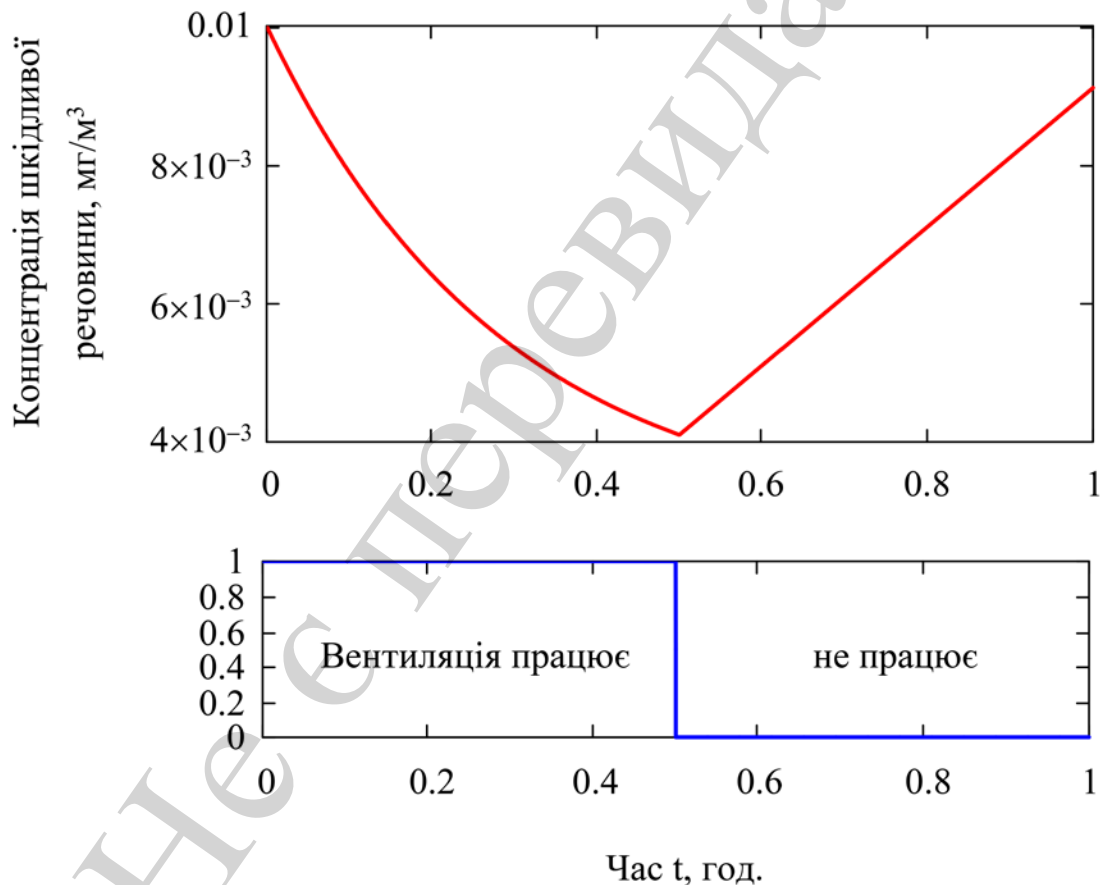


Рис. 4. Динаміка концентрації чадного газу в повітрі приміщення з урахуванням працездатності системи вентиляції (Mathcad; $V=100 \text{ м}^3$; $L=350 \text{ м}^3/\text{год}$; $J=1 \text{ мг/год}$)

Дані числові значення уявляють собою окремий випадок. Вони застосовані, так як відповідають поширеним (характерним) умовам роботи і демонструють працездатність моделі в цілому.

В ході експериментальних досліджень встановили залежність концентрації чадного газу від часу роботи зварювального апарату в обмеженому просторі (рис. 5) і під витяжним зонтом (рис. 6).

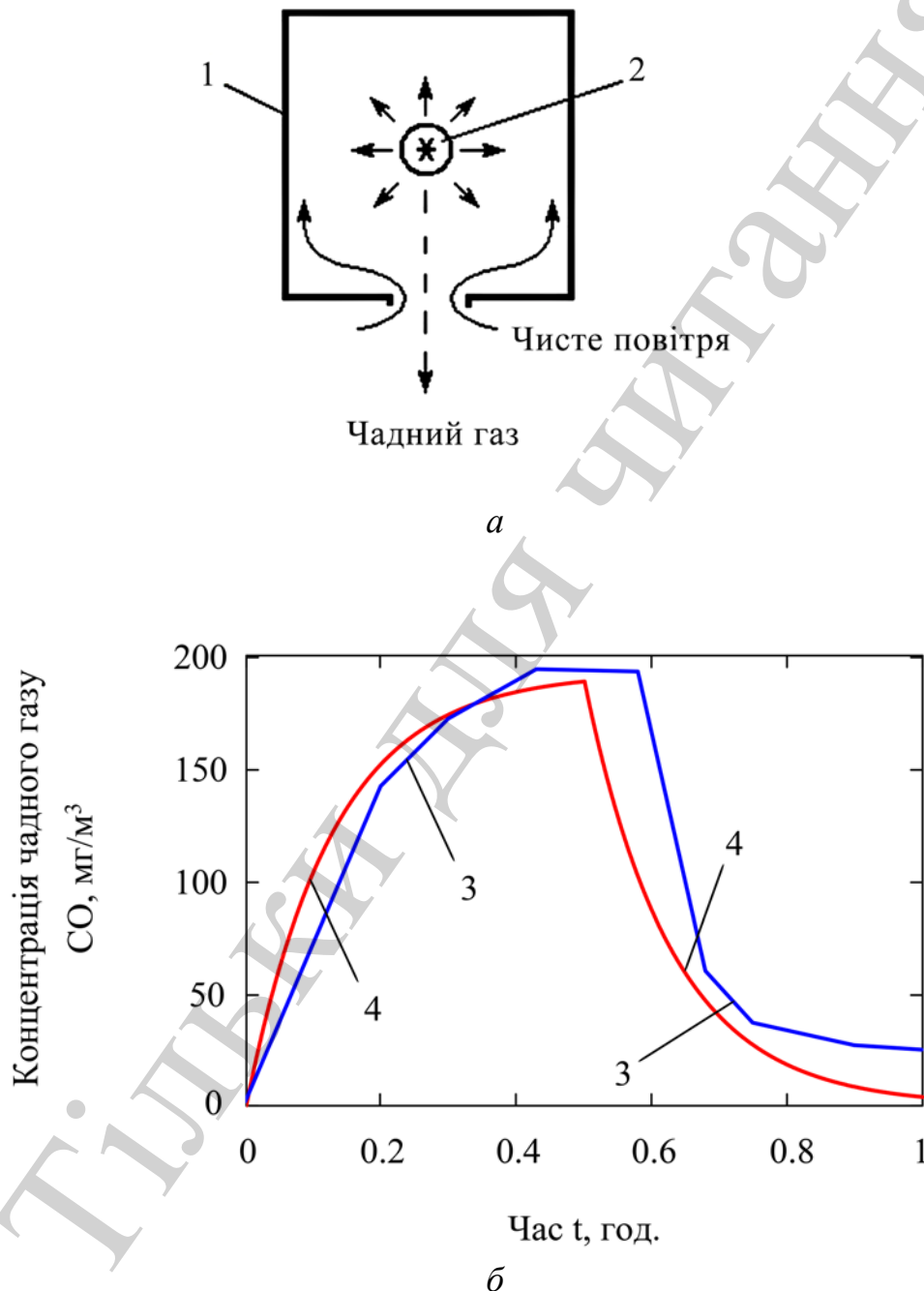


Рис. 5. Динаміка залежності концентрації чадного газу від часу в квазіоднорідному локальному об'ємі ($J=4,5$; $V=0,003$): а – джерело СО в локальному об'ємі (1 – обмежений об'єм; 2 – джерело СО); б – динаміка залежності концентрації чадного газу від часу в локальному об'ємі (3 – експериментальні дані; 4 – математична модель)

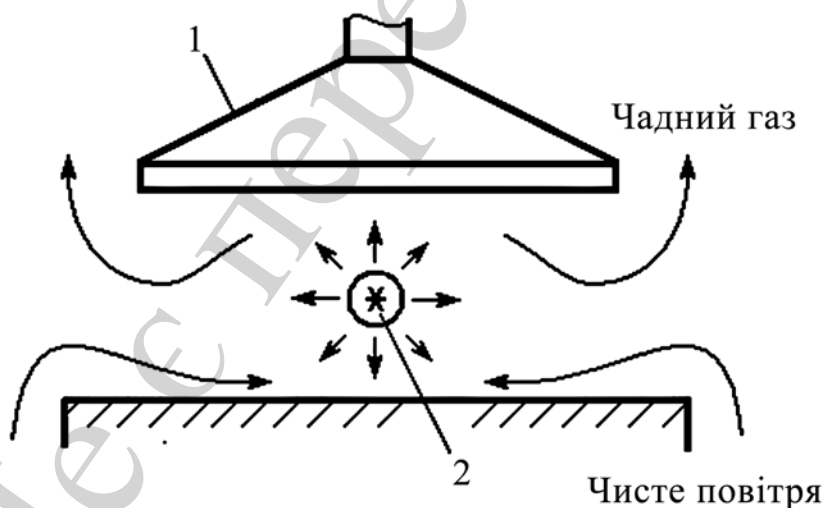
В експерименті, представленому на рис.5, змодельована ситуація в замкнутому просторі обмежених робочих зон (кабін, колодязів, шахт і т.п.). Обмін повітря (L) тут здійснюється через вентиляційний отвір. З метою отримання математичної моделі загазованості повітря робочої зони чадним газом була використана прямо пропорційна залежність припливу свіжого повітря від інтенсивності виділення газу CO :

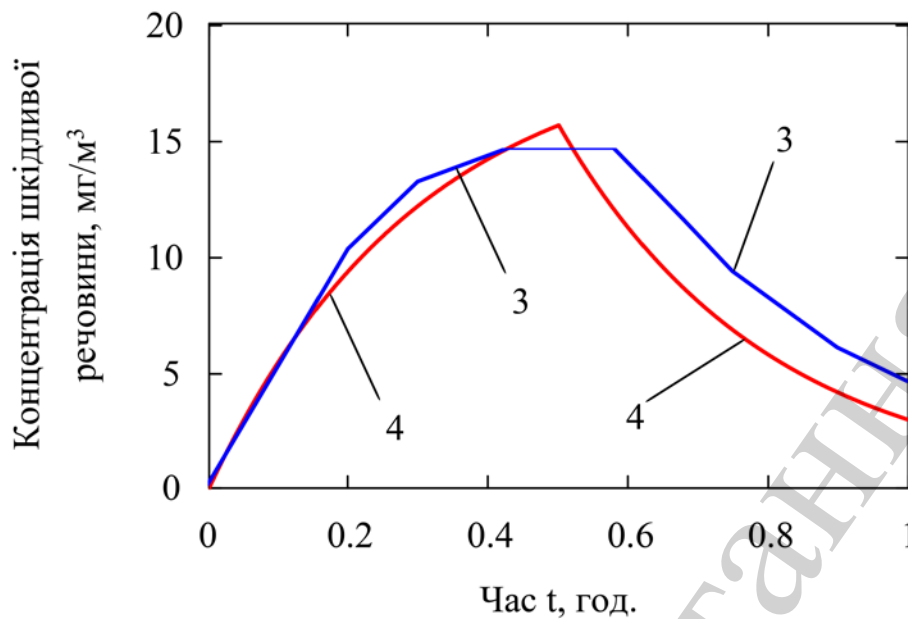
$$L = J \cdot 0,0052. \quad (12)$$

Коефіцієнт пропорційності 0,0052 отриманий при обробці експериментальних даних і відповідає окремому випадку. При зміні обсягу і площі вентиляційного отвору його значення також зміниться. Важливим є не саме значення, а можливість використання лінійної моделі.

Ламана лінія 3 є середньостатистичним результатом експериментальних вимірювань[30, 31], відображає зміну концентрації чадного газу в залежності від часу в побудованій математичній моделі, отриману методом найменших квадратів [32]. В даному експерименті змодельована ситуація в замкнутому просторі обмежених робочих зон (кабін, колодязів, шахт і т.п.).

Аналогічно була отримана математична модель загазованості повітря робочої зони на межі зовнішнього контуру витяжного зонта (рис. 6). Тут також була використана прямо пропорційна залежність припливу свіжого повітря від інтенсивності виділення чадного газу в виде (12).





б

Рис.6. Динаміка концентрації чадного газу під витяжним зонтом при відмові вентиляції ($J=4,5$; $V=0,07$): а – джерело СО під витяжним зонтом (1 – витяжний зонт; 2 – джерело СО); б – динаміка концентрації чадного газу під витяжним зонтом (3 – експериментальні дані; 4 – результати моделювання)

5. 3. Застосування математичної моделі щодо розрахунку вмісту чадного газу в повітрі робочих зон при відмові вентиляційної системи

У реальних виробничих умовах чадний газ видаляється з робочої зони за допомогою пристроїв місцевої витяжної вентиляції. Зазвичай ці пристрої мають обмежений внутрішній об'єм, всередині якого відбувається інтенсивне перемішування газоповітряної суміші. Далі будемо розглядати їх в якості локальних об'ємів з квазіоднородної газоповітряної суміші. Очевидно, що в приміщенні реального цеху або лабораторії таких пристроїв може перебувати кілька (n). Зазвичай їх кількість дорівнює кількості робочих місць.

Особливий інтерес з точки зору забезпечення безпеки виробничих процесів з виділенням чадного газу представляють ситуації, пов'язані з відмовою системи вентиляції. Далі буде розглянуто виробниче приміщення, оснащене системою комбінованої вентиляції. П'ять робочих місць оснащені пристроями місцевої витяжної вентиляції, підключеними до загального повітропроводу і вентилятора. Також в приміщенні є загальна припливна вентиляція. Для розрахунку вмісту чадного газу в повітрі робочих зон при відмові вентиляційної системи авторами пропонується наступна модель, яка оснований на системі диференціальних рівнянь (13), (14).

$$\frac{dm_1(t)}{dt} = J_1 + K_1(m - m_1); \quad (13)$$

$$\frac{dm_n(t)}{dt} = J_n + K_n(m - m_n); \quad (14)$$

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_1 \cdot m_1 + \dots + K_n \cdot m_n - Km \cdot v(t), \quad (15)$$

де $m_1 \dots m_n$ – кількості чадного газу в повітрі приміщення у момент часу t , год; $J_1 \dots J_n$ – інтенсивності виділення чадного газу у відповідних локальних об'ємах, мг/год; $K_1 \dots K_n$ – кратності повітрообміну локальних об'ємів, які розраховуються за формулою (4), 1/год. Приплив повітря розраховується за формулою (12); n – кількість локальних об'ємів; $v(t)$ – функція, яка визначає режим роботи (відмови) загальної вентиляції, – рівняння (11).

Рівняння (13)–(15) відображають динаміку вмісту чадного газу у відповідному локальному об'ємі при одночасній відмові місцевої вентиляції на n робочих місцях. Така ситуація може виникнути при розгерметизації або засміченні загального повітропроводу, а також при відмові вентилятора. Праві частини рівнянь відображають одночасне надходження і видалення чадного газу.

При цьому надходження в кожен локальний обсяг здійснюється двома шляхами:

- від відповідного внутрішнього джерела $J_1 \dots J_n$;
- від повітря, що надходить з приміщення (складові $K_1 m \dots K_n m$).

Рівняння (17) відображає динаміку вмісту чадного газу в об'ємі приміщення за межами локальних зон. Останній доданок відображає видалення чадного газу за допомогою загальної вентиляції. Попередні складові відображають його надходження в приміщення з локальних зон.

На рис. 7 показані залежності концентрації чадного газу всередині п'яти локальних об'ємів (криві 1–5). На рис. 8 показана динаміка концентрації чадного газу в повітрі приміщення. Розрахунки виконані чисельним методом в середовищі Mathcad. Вихідні дані, наближені до реальних, наведені у табл. 4.

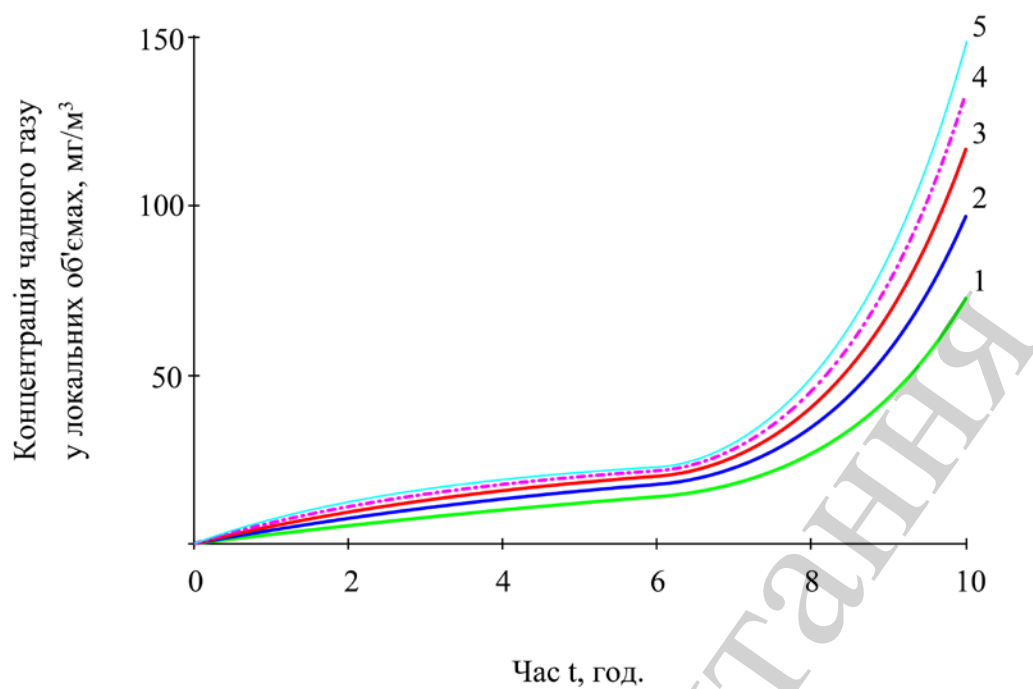


Рис. 7 Динаміка концентрації чадного газу в повітрі локальних об'ємів. Вихідні дані і рівняння для розрахунку кривих 1–5 наведені в табл.4, значення локальних об'ємів дорівнюють, відповідно, V_0 – V_4 (м³)

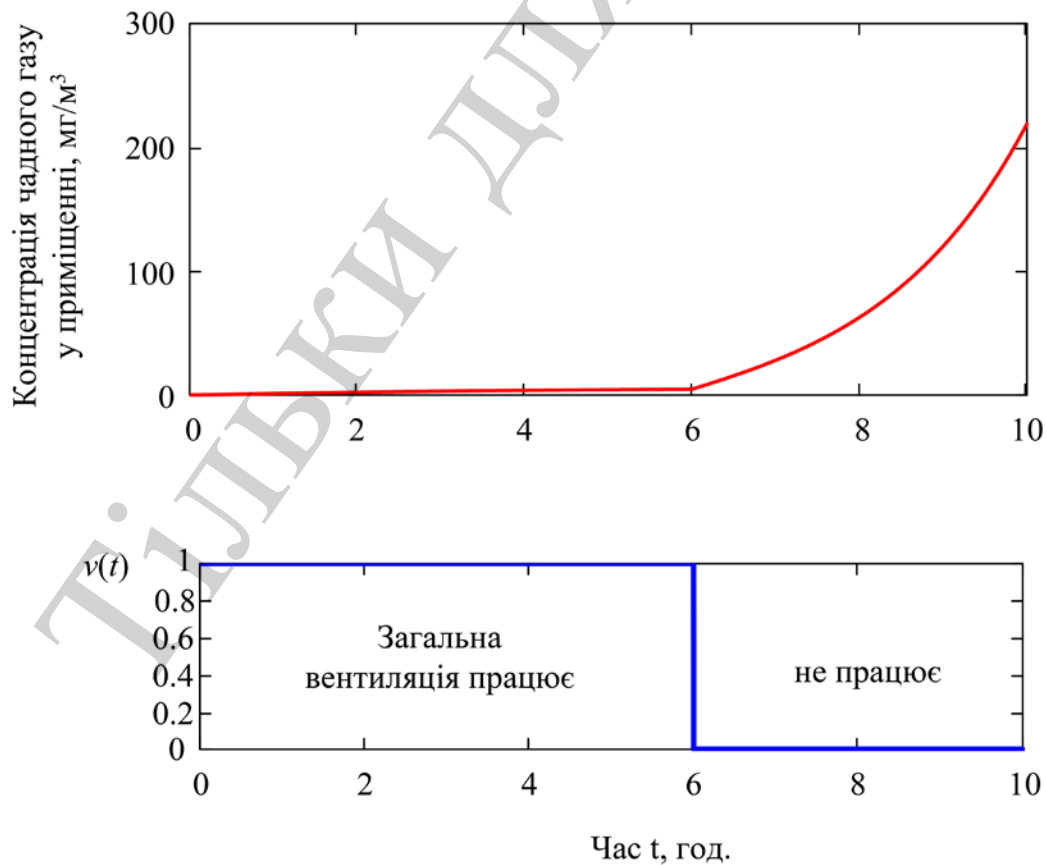


Рис. 8 Динаміка концентрації чадного газу в повітрі приміщення

Таблиця 4

Вихідні дані розрахунків (Mathcad, до рис. 7,8)

$J0 := 2$	$V0 := 0.7$	$L0 := 0.052 \cdot J0$	$K0 := \frac{L0}{V0}$
$J1 := 3$	$V1 := 0.7$	$L1 := 0.052 \cdot J1$	$K1 := \frac{L1}{V1}$
$J2 := 4$	$V2 := 0.7$	$L2 := 0.052 \cdot J2$	$K2 := \frac{L2}{V2}$
$J3 := 5$	$V3 := 0.7$	$L3 := 0.052 \cdot J3$	$K3 := \frac{L3}{V3}$
$J4 := 6$	$V4 := 0.7$	$L4 := 0.052 \cdot J4$	$K4 := \frac{L4}{V4}$
$v(t) := \frac{sign(6-t)+1}{2}$	$V5 := 100$	$L5 := 450$	$K5 := \frac{L5}{V5}$
$M(t,m) :=$	<div><div>$\begin{bmatrix} J0+K0(m_5-m_0) \\ J1+K1(m_5-m_1) \\ J2+K2(m_5-m_2) \\ J3+K3(m_5-m_3) \\ J4+K4(m_5-m_4) \\ K0 \cdot m_0 + K1 \cdot m_1 + K3 \cdot m_3 + K4 \cdot m_4 - K5 \cdot m_5 \cdot v(t) \end{bmatrix}$</div><div>$m = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$</div></div>		
$r1 := rkfixed(m,0,10,1000,M)$			

На рис. 8 видно, що концентрація чадного газу за межами локальних об'ємів пристроїв місцевої вентиляції, тобто в повітрі робочих зон, залишається постійною і не перевищує ГДК (20 мг/м^3), згідно з Гігієнічним нормативом ГН 3.3.5-8-6.6.1 2002 [21]. Це свідчить про те, що загально обмінна вентиляція в розглянутих умовах виконує роль «гарячого» резерву місцевої вентиляції, достатнього для забезпечення безпеки за фактором чадного газу в повітрі робочих зон. При відмові загально-обмінної вентиляції концентрація чадного газу зростає в експоненційній залежності, в результаті чого безпека не забезпечується. Очевидно, що для її забезпечення потрібне прийняття додаткових заходів (сигналізація, евакуація, застосування засобів індивідуального захисту та ін.).

6. Обговорення результатів дослідження утворення монооксиду вуглецю у процесах електродугового зварювання

Досягнення поставленої мети – мінімізації ризиків отруєння чадним газом зварювальників – можна досягти, якщо вирішувати усі завдання у комплексі. Тобто, вирішити питання щодо підходів оцінки небезпеки зварювальних проце-

сів, особливу увагу звернути на роботу у локалізованих просторах, де відсутня вентиляція та великий ризик отруєння чадним газом зварювальників. Для розповсюдження отриманих залежностей на інші виробничі місця, треба було створити математичну модель газової складової зварювального аерозолі (ГССА) щодо монооксиду вуглецю. Необхідно було оцінити заходи та засоби захисту працівників та довкілля від впливу чадного газу та можливі шляхи щодо проникнення монооксиду вуглецю в організм зварювальника у процесі його роботи.

Основною червоною стрічкою досліджень було використання приладу аналізатора-сигналізатора типу ДОЗОР-С-М, який дозволив виконати заміри на робочих місцях зварювальників, із урахуванням порогових значень параметрів. Окрім цього, застосування цього приладу дозволило у автоматичному режимі отримати записи показників концентрацій, які змінюються у часі, в залежності від різних умов оточуючого середовища та зміни режимів роботи вентиляції.

Газовий аналізатор-сигналізатор ДОЗОР-С-М, який є переносним і зручним у використанні. За допомогою газозабірної зонди приладу, який має достатню довжину та виконано з металу, що не боїться високих температур, робили заміри безпосередньо у зоні зварювання та у виробничому приміщенні у важко досяжних місцях. Прилад ДОЗОР-С-М налаштовано на певні порогові концентрації, на яких подається сигнал при досягненні відповідної концентрації, що дозволяє рекомендувати його, як необхідне спорядження для зварювальників, які працюють у приміщеннях без вентиляції.

У ході оцінки професійного ризику та застосування методу Файн-Кінні було встановлено, що в залежності від умов, які можуть складатись у зварювальній лабораторії, ризик може бути високої категорії ($R=300$), а тому слід постійно звертати увагу на стан систем захисту зварювальників, ЗІЗ та робочому стану вентиляції. Для визначення ризиків можна використати інші методи але при цьому слід враховувати імовірнісний характер та непостійність процесу зварювання.

Розроблено математичну модель газової складової зварювального аерозолі (ГССА) щодо динамічної зміни у часі концентрації чадного газу всередині локальних об'ємів та за їх межами всередині приміщення. При виконанні досліджень на робочому місці зварювальника було встановлено, що необхідно враховувати фізико-хімічні властивості монооксиду вуглецю та специфіку його діагностування. У ході досліджень зверталась увага те, що СО легкий газ, який важко відстежити у робочому просторі, поки його не сконцентрувати у якомусь об'ємі. Тому виміри необхідно було проводити із спеціальною навісною панеллю та тільки завдяки цьому змогли отримати вірогідні результати. Тому, коли встановлюють детектори аналізу утворення газів, не тільки монооксиду вуглецю, необхідно використовувати у певних зонах концентратори, які допоможуть із більшою ймовірністю визначити небезпечні концентрації у повітрі робочої зони.

В результаті досліджень питань утворення монооксиду вуглецю в процесах зварювання і його впливу на зварювальника в виробничому середовищі (процесі праці) було виявлено, що СО потрапляє у зону дихання зварювальника і це питання вивчено дослідниками недостатньо, а тому можна припустити що це

має певний вплив на розвиток професійних захворювань працівників. Відомо, що багато зварювальників нехтують засобами захисту або використовують не достатньо ефективні з них, які не можуть забезпечити належний захист органів дихання. Не достатньо висвітлені питання праці зварювальників у замкнутих просторах приміщень, де є джерела утворення монооксиду вуглецю, який призводить до отруєння і загибелі людей. Тому саме вирішенню цієї проблеми присвячені основні дослідження.

Експериментально досліджувалась концентрація чадного газу всередині локального об'єму і за його межами всередині приміщення. За результатами експерименту видно (табл.3, рис.2,3), що концентрація чадного газу за межами локальних об'ємів пристроїв місцевої вентиляції, тобто в повітрі робочих зон, залишається постійною в межах $(0,1-0,3 \text{ мг/м}^3)$ і не перевищує ГДК (20 мг/м^3) . Але дослідженнями, що були зроблені, доведено, що відсутність загально-обмінної вентиляції призводить до швидкого зростання концентрації газу монооксиду вуглецю в експоненційній залежності. (рис.2 та 6). Також показано важливість застосування місцевої вентиляції тільки разом з загально-обмінною вентиляцією.

Результати досліджень можна рекомендувати для оцінки ризиків праці зварювальників при ручному ЕДЗ, а також при визначенні різних емісій та СО при розрахунках систем вентиляції у виробничому приміщенні.

Доцільним є проведення досліджень, щодо розробки методів адсорбції та абсорбції емісій при зварюванні з метою розробки локальних систем вентиляції для замкнутих робочих просторів де виконуються ЕДЗ. Можливе встановлення водяних фонтанів або перегородок, у яких будуть виконуватись вище зазначені процеси очищення повітря.

Дослідження може мати продовження з метою вивчення масштабів утворення СО у технологіях із відкритим полум'ям та системами нагріву до високих температур, корегування системи менеджменту ризиками та охороною праці тощо.

До недоліків виконаного дослідження слід віднести обмеженість видів електродів, які було використано для аналізу концентрацій монооксиду вуглецю, який утворюється у робочій зоні. Вважаємо за необхідне продовжити ці дослідження, звернувши увагу саме на технології зварювання та вплив ергономічних та соціальних питань на стан здоров'я та мінімізацію ризиків отруєння зварювальників. Екологічності питання утворення монооксиду вуглецю та трансформації його у диоксид вуглецю також треба приділити більше уваги. Слід звернути увагу на економічні питання щодо забезпечення безпеки праці зварювальників, зокрема через пошук сигналізаторів, які були б ефективні та менш вартісні. У дослідженнях не було розглянуто загальну систему керування ризиками на підприємстві та створення карти ризиків на робочому місці. Вважаємо, що це питання також вимагає окремих досліджень.

7. Висновки

1. Встановлено, що засоби індивідуального захисту, що повинні застосовуватися на робочих місцях зварювальників, практично не використовуються або

не відповідають рівню захисту, необхідному при утворенні монооксиду вуглецю. Тому основним захистом залишається вентиляція повітря у зоні зварювання. Необхідно враховувати специфіку проведення зварювальних робіт поза стаціонарних робочих місць, особливо у замкнутих просторах, де, згідно отриманим розрахункам, за експоненціальною залежністю зростає концентрація монооксиду вуглецю. За отриманими динамічними показниками росту концентрації монооксиду вуглецю необхідно кожну годину перевіряти концентрацію чадного газу при роботі у приміщенні, де є вентиляція, при її відсутності – через кожні 0,5 години. Це дозволить запобігти гострого та професійного отруєння монооксидом вуглецю зварювальників. Для контролю за концентрацією чадного газу можна ефективно використати газові аналізатори-сигналізатори типу ДОЗОР.

Визначено ефективність застосування приладу газоаналізатора ДОЗОР-С-М щодо попередження ризику отруєння монооксидом вуглецю зварювальників при виконанні робіт у приміщеннях без вентиляції та відсутності відповідних ЗІЗ органів дихання. Газовідбірну штангу треба розміщувати так, щоб відбір газу був трохи вище голови працівника. При досягненні позначки на приладі «ПОРОГ-1» (20 мг/м^3) прилад подає сигнал про необхідність припинення робіт та вживання заходів щодо провітрювання простору, де відбувається зварювання. Це дозволить запобігання нещасних випадків із отруєнням зварювальників.

2. Утворення монооксиду вуглецю при ручному ЕДЗ призводить до ситуацій, коли ризик стає не припустимо високим (більш $R=300$ за методом Файн-Кінні), і означає існування високої загрози життю та здоров'ю зварювальників. Тому зварювальники повинні постійно контролювати наявність та концентрацію монооксиду вуглецю (чадного газу) у приміщенні, де відбувається процес зварювання, а також контролювати роботу систем вентиляції, щоб зменшити рівень ризику до мінімального показника ($R \leq 10$).

3. Оцінка отриманих математичних моделей процесу утворення та розповсюдження газу монооксиду вуглецю у робочому просторі зварювальника довела, що процес накопичення газу у приміщенні може мати як експоненціальну залежність, так і лінійну та логарифмічну. Кожен із цих варіантів залежить від стану вентиляції приміщення, де відбувається процес зварювання, його розмірів, особистості електродів що використовуються та експозиції самого процесу зварювання. При наявності та справної роботі вентиляції процес утворення чадного газу розвивається за логарифмічною формою, при її відсутності – за лінійною, що дуже небезпечно.

Література

1. Марків Б. Умови праці зварників. Вплив шкідливих виробничих факторів. URL: <http://te.dsp.gov.ua/umovy-pratsi-zvarnykiv-vplyv-shkidlyvyh-vyrobnychyh-faktoriv/>
2. Welding fume hazards. Safety+Health. URL: <https://www.safetyandhealthmagazine.com/articles/14291-welding-fume-hazards&prev=search>

3. Горбоконь А. В. Зварювальний аерозоль та засоби зменшення його шкідливого впливу // Университетская наука – 2017: матеріали междунар. наук.-техн. конф. Т. 1. Мариуполь, 2017. С. 293–294.
4. Шкідливі речовини при зварюванні і навіщо потрібно фільтровентиляційне обладнання. URL: http://sammit.dp.ua/articles/svarka_vred.htm
5. Гришагин В. М., Луговцова Н. Ю. Сварочный аэрозоль как основная экологическая проблема современного сварочного производства в машиностроении // Вестник науки Сибири. 2011. № 1. С. 726–728.
6. Левченко О. Г., Булат А. В., Безушко О. М. Вплив виду електродного покриття на гігієнічні характеристики аерозолів, що утворюються при зварюванні високолегованих сталей // Вісник НТУ «КПІ». Серія «Гірництво». 2010. Вип. 19. С. 171–177.
7. Development of Welding Fumes Health Index (WFHI) for Welding Workplace's Safety and Health Assessment / Hariri A., Paiman N. A., Leman A. M., Yusof M. Z. Md. // Iran J Public Health. 2014. Vol. 43, Issue 8. P. 1045–1059. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4411901/>
8. Савицький О. М., Мандрик О. М. Екологічна складова дугового зварювання та напрямок її підвищення // Науковий вісник ІФНТУНГ. 2014. № 1 (36). С. 66–73. URL: <http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/2544/1/3450p.pdf>
9. Mistry P. K. J. Impact of Welding Processes on Environment and Health // International Journal of Advanced Research in Mechanical Engineering & Technology (IJARMET). 2015. Vol. 1, Issue 1. P. 17–20. URL: <http://ijarmet.com/wp-content/themes/felicity/issues/vol1issue1/pankaj1.pdf>
10. Meneses V. A. de, Leal V. S., Scotti A. Influence of Metal Transfer Stability and Shielding Gas Composition on CO and CO₂ Emissions during Short-circuiting MIG/MAG Welding // Soldagem & Inspeção. 2016. Vol. 21, Issue 3. P. 253–268. doi: <https://doi.org/10.1590/0104-9224/si2103.02>
11. Health Related Quality of Life and Influencing Factors among Welders / Qin J., Liu W., Zhu J., Weng W., Xu J., Ai Z. // PLoS ONE. 2014. Vol. 9, Issue 7. P. e101982. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101982>
12. Оценка распространения частиц сварочного аэрозоля в пространстве рабочей зоны сварщика в зависимости от времени / Кириченко К. Ю., Рогунин Р. С., Дрозд В. А., Гридасов А. В., Холодов А. С., Ильященко Д. П. и др. // Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства. 2018. № 2. С. 42–51. doi: <http://doi.org/10.24411/1816-1863-2018-12042>
13. Игнатова А. М., Игнатов М. Н. Оценка морфологии, дисперсности, структуры и химического состава твердой составляющей сварочных аэрозолей посредством современных методов исследований // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 133–138.
14. Исследование физико-химических характеристик твердой составляющей сварочных аэрозолей / Кузнецов Д. А., Симонович А. Л., Наумов С. В., Игнатова А. М. // Аэрозоли Сибири: сб. тез. докл. XIX Раб. группы конф. Томск, 2012. С. 78.

15. Биковський О. Г., Лазуткін М. І. Охорона праці при виробництві конструкцій з кольорових металів і сплавів // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ". 2012. № 1. С. 128–136.
16. Демчина М. Вплив компонентів зварювального аерозолі на здоров'я людини. 2016. URL: <https://city-adm.lviv.ua/news/society/emergency/233003-vplyv-komponentiv-zvartuvalnogo-aeroliu-na-zdorovia-liudyny>
17. Логвинов Ю. В. Экологический менеджмент и решение конкретного вопроса по локализации и нейтрализации сварочного аэрозоля при наплавке // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. 2016. Вип. 33. С. 193–197.
18. Гранично допустимі концентрації \ГДК\ та орієнтовні безпечні рівні діяння \ОБРД\ забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць. URL: <http://www.mcl.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/10/OBRV-2017.pdf>
19. A Cross-Sectional Study of the Cardiovascular Effects of Welding Fumes / Li H., Hedmer M., Kåredal M., Björk J., Stockfelt L., Tinnerberg H. // PLOS ONE. 2015. Vol. 10, Issue 7. P. e0131648. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131648>
20. Левченко О. Г., Демецька О. В., Лук'яненко А. О. Цитотоксичність зварювальних аерозолів, що утворюються під час зварювання покритими електродами // Український журнал з проблем медицини праці. 2016. № 3. С. 30–35.
21. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. Гігієнічні нормативи ГН 3.3.5-8-6.6.1 2002 р. Київ, 2001. 46 с.
22. Опара Н. М., Дударь Н. І. Чадний газ: вплив на організм людини, способи індивідуального захисту і безпечної поведінки. URL: <http://dspace.pdaa.edu.ua:8080/bitstream/123456789/798/1/Чадний%20газ%20%20вплив%20на%20організм%20людини%20С%20способи%20індивідуального%20захисту%20і%20безпечної%20поведінки.pdf>
23. Окис вуглецю (чадний газ). URL: <https://empendium.com/ua/chapter/B27.II.20.10>
24. Энциклопедия по охране и безопасности труда. URL: <http://base.safework.ru/iloenc>
25. Україна лідирує за кількістю підприємств державної форми власності. 2017. URL: <https://konkurent.in.ua/publication/14844/ukrayina-lidiruye-zakilkisty-pidpriyemstv-derzhavnoyi-formi-vlasnosti/>
26. Дозор С М Сигнализатор-анализатор газов многокомпонентный индивидуальный. Руководство по эксплуатации АГАТ РЭ. URL: <https://docplayer.ru/53460271-Dozor-s-m-signalizator-analizator-gazov-mnogokomponentnyy-individualnyy-rukovodstvo-po-ekspluatatsii-agat-re.html>
27. Оценка профессионального риска в производственных помещениях учреждения быстрого питания / Пачурин Г. В., Шевченко С. М., Галка Н. В., Галка А. Г. // Фундаментальные исследования. 2016. № 11. С. 69–73. URL: <https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40929>
28. Заец Ю. Л., Беляева В. В. Расчет образования взрывоопасной концентрации в помещении при аварийной утечке газа // Вісник Дніпропетровсь-

кого національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2008. Вип. 20. С. 91–93. URL:http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdnuzt_2008_20_21

29. Толстых В. К. Программирование в среде Mathcad. Донецк: ДонНУ, 2010. 128 с.

30. Рибалко О. М. Вища математика (спеціальні розділи). Основи теорії ймовірностей з елементами математичної статистики. Харків: Колегіум, 2014. 359 с.

31. Кирьянов Д. В. Mathcad 15/MathcadPrime 1.0. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 432 с.

32. Макаров Е. Г. Инженерные расчеты в Mathcad 15. Учебный курс. СПб.: БГТУ-Военмех, 2011. 345 с.

Не є перевиданням